Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 693-712

Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain of Kermanshah Province

Faranak Karamian[1], Ali Asghar Mirakzadeh[2*] and Arash Azari[3]

Received: 15-08-2020
Revised: 04-07-2021
Accepted: 11-07-2021
Available Online: 11-07-2021

How to cite this article:
Karamian F., Mirakzadeh, A.A., and Azari, A., 2023. Analysis of water and energy consumption and environment impacts of agricultural production in miandarband plain of Kermanshah province. Journal of Agroecology 14(4): 693-712.
DOI: 10.22067/agry.2021.67227.0

Introduction

The agricultural sector accounts for 70% of fresh water and about 30% of the world's total energy consumption through food production and supply chain. Water, energy and food are three basic interrelated sources of human health, as water and energy are vital to food production. In recent centuries, increasing pressure due to scarcity of resources and increasing demand for food and ultimately environmental pollution necessitates the need for optimal management of water, energy and food. In this regard, this study was conducted Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain.

Materials and Methods

The present study was conducted using a quantitative approach for wheat, barley, maize-grain, canola, tomato and potato crops. The statistical population was 1676 farmers that according to Krejcie and Morgan table, 315 farmers were selected using stratified random sampling. A researcher-made questionnaire and secondary data of the Meteorological Organization of Iran were used to collect information. In order to calculate the amount of energy consumed by the studied products, first the input and output energies of the products were measured and then converted to their equivalent energy. Input energy in food production systems is both direct and indirect. To calculate the water consumption by each product, two elements of green and blue water of the products were calculated. The amount of greenhouse gas emissions for the inputs of the studied products was calculated using CO_2, N_2O and CH_4 emission coefficients for different inputs.

Results and Discussion

The research results showed the dominant crops production in the region consumes 50,827 m^3 ha^{-1} of water; Potato (11440 m^3 ha^{-1}) and maize-grain (10492 m^3 ha^{-1}) consume the most water. The total energy consumption was 975608.50 MJ ha^{-1}; the highest input energy consumption is related to potato (25%), maize-grain (22%) and tomato (15%). Chemical fertilizers, diesel fuel and water for irrigation used the most energy in the agricultural sector. Total CO_2, N_2O and CH_4 emissions were 3729.79, 152.05 and 0.293 kg ha^{-1}, respectively and total Global Warming Potential, 50872. 52 kg CO_{2eq}; that tomato with emissions of 15592.48 and barley with emissions of 3279.88 kg CO_{2eq}, had the highest and lowest share. According to the results, the amount of water consumption by the studied

1- Ph.D. of Agricultural Development, Department of Agriculture Extension and Education, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture Extension and Education, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
(*- Corresponding author's Email: Mirakzadeh@razi.ac.ir)

products, except for tomatoes, is more than the recommended amount of water required during the growth period of the desired products by experts; In this regard, it can be said that low irrigation efficiency, poor supervision by relevant agencies, the existence of a large number of illegal wells, mismanagement, uncoordinated management, lack of long-term attitude and inefficient water consumption of irrigation and especially the land use system has caused high water consumption in the studied crops. According to the results, the smaller the farm area, the higher the water and energy consumption and the higher the GWP. In such farms the farmer has lost the advantage of scale and by applying pressure on the ground by increasing the irrigation cycle, the use of fertilizers and pesticides seeks to gain more efficiency. On the other hand, due to the small size of farms, they use less up-to-date technologies, thus indirectly increasing water and energy waste. The results showed that crops that are mainly grown in agriculture in the region with the lease system have the highest input consumption and have a negative impact on the environment of the region. In this regard, it can be said that land tenants in the region try to get the most economic benefit from the land in a shorter period of time, and this increases the pressure on resources.

Conclusion

In general, it can be said that low irrigation efficiency, existence of a large number of illegal wells, allocation of agricultural subsidies and the lack of calculation of water and energy costs has caused the inefficiency of the agricultural system of Miandarband plain. Therefore, increasing irrigation efficiency using strip irrigation system and increasing water and energy prices in the agricultural sector can be effective in the optimal use of water and energy.

Keywords: Global Warming Potential (GWP), Greenhouse Gases, Input consumption efficiency, Kermanshah, Sustainability.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه

فرانک کرمیان[۱]، علی اصغر میرک‌زاده[۲]* و آرش آذری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

کرمیان، ف.، میرک‌زاده، ع.ا.، و آذری، آ.، ۱۴۰۱. تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۱۲-۶۹۳

چکیده

این پژوهش، به‌منظور تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه، با استفاده از رویکرد کمّی و برای محصولات گندم، جو آبی، ذرت‌دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی انجام گرفت. جامعه آماری، ۱۶۷۶ کشاورز بود که طبق جدول کرجسی و مورگان، ۳۱۵ کشاورز با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شدند. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسش‌نامه محقق-ساخته و داده‌های ثانویه سازمان هواشناسی ایران استفاده شد. طبق نتایج پژوهش، تولید محصولات غالب در منطقه، $m^3.ha^{-1}$ ۵۰۸۲۷ آب مصرف می‌کنند؛ سیب‌زمینی ($m^3.ha^{-1}$ ۱۱۴۴۰) و ذرت‌دانه‌ای ($m^3.ha^{-1}$ ۱۰۴۹۲) بیشترین میزان آب را مصرف می‌کنند. کل مصرف انرژی $MJ.ha^{-1}$ ۹۷۵۶۰۸/۵۰ بود که بیشترین میزان مصرف انرژی ورودی مربوط به سیب‌زمینی (۲۵ درصد)، ذرت‌دانه‌ای (۲۲ درصد) و گوجه‌فرنگی (۱۵ درصد) می‌باشد. همچنین کودهای شیمیایی، سوخت‌دیزل و آب برای آبیاری بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف کردند. انتشار CO_2، N_2O و CH_4 به‌ترتیب ۳۷۲۹/۷۹، ۱۵۲/۰۵ و ۰/۲۹۳ کیلوگرم در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی، $kg\ CO_{2\ eq}.ha^{-1}$ ۵۰۸۷۲/۵۲ بود که گوجه‌فرنگی با انتشار ۱۵۵۹۲/۴۸ و جو با انتشار ۳۲۷۹/۸۸ کیلوگرم معادل CO_2، بیشترین و کمترین سهم را دارا بودند. می‌توان گفت کارایی پایین آبیاری، وجود تعداد زیاد چاه‌های غیرمجاز، اختصاص یارانه‌های کشاورزی و عدم محاسبه هزینه آب و انرژی موجب ناکارآمدی سیستم کشاورزی دشت میاندربند شده است؛ لذا افزایش کارایی آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری نواری و همچنین افزایش قیمت آب و انرژی در بخش کشاورزی همراه با حفظ منافع کشاورزان می‌تواند در استفاده بهینه از آب و انرژی و کاهش مصرف آن‌ها مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)، کارایی مصرف نهاده‌ها، گازهای گلخانه‌ای

۱- دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲- استادیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Mirakzadeh@razi.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.67227.0

مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش غلظت گازهـای گلخانـه‌ای در اتمسـفر موجب گرم شدن کره زمین شده است و عواقب آن به‌مراتب شـدیدتر از آن چیزی است که چند سال پیش تخمین زده شـده بـود (Tan et al., 2016). در این راستا، کشاورزی بخش اصلی تأمین‌کننده امنیـت غذا، انرژی و آب و همچنین یکی از مهم‌ترین منـابع انتشـار گازهـای گلخانه‌ای به جو مـی‌باشـد (Tian et al., 2016)، بـه‌طـوری‌کـه ۷۰ درصـد از مجمـوع آب شـیرین (Fan et al., Garcia et al., 2019 ; 2020) و حدود ۳۰ درصد از کل انرژی مصرف شـده در جهـان را بـه خود اختصاص می‌دهد (Garcia et al., 2019). همچنـین ۱۰ تـا ۱۲ درصد گازهای گلخانه‌ای[1] توسط بخش کشاورزی وارد جـو مـی‌شـود (Khoshnevisan et al., 2013a). مصـرف آب و انـرژی در بخـش کشاورزی، موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون کربن دی اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتـروژن (N_2O) و در نتیجـه، افـزایش گرمایش جهانی و تشـدید بـروز خشکسـالی خواهـد شـد. از ایـن رو، علاوه‌بر مسائل مربوط به مصرف آب و انرژی بـه‌عنـوان ورودی‌هـای کشاورزی، مسائل مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلـودگی‌هـای زیست‌محیطی ایجاد شده نیز در سیستم‌هـای تولیـد کشـاورزی مهـم هستند (Pishgar-Komleh et al., 2012). حـدود ۹۰ درصـد N_2O، ۷۰ درصد CH_4 و ۲۰ درصد CO_2 موجود در جو حاصل از فعالیت‌های کشاورزی است. بنابراین، وجود ارتباط مستقیم بین مصـرف انـرژی و آب در بخش کشـاورزی و انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای کـه گرمـایش جهانی و تشدید خشکسالی را بـه همـراه دارد، غیرقابـل انکـار اسـت (Yousefi et al., 2016).

در این راستا، در کشورهای درحال توسعه از جملـه ایـران میـزان منابع طبیعی از جمله آب و انرژی محدود است. ایران سرزمینی اسـت که در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته (Mohammadi & Banihabib, 2020) و میزان نزولات جوی در آن بسیار کم است؛ به‌طوری‌که متوسط بارندگی سـالانه در ایـران حـدود ۲۵۰ میلـی‌متـر گزارش شده است، این در حالی است که میـزان بارنـدگی سـالیانه در سطح کره زمین ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده شده است (Basiri et al., 2020). در کشـور ایـران، کشـاورزی نقـش اساسـی در اقتصـاد دارد؛ به‌طوری‌که حدود ۱۰ درصد از تولید ناخالص داخلی، ۲۰ درصد اشتغال و بیش از ۲۰ درصد صادرات غیرنفتی را شامل می‌شود (Farajian et al., 2018). در کشور ایران حدود ۹۵ درصد از منـابع آب موجـود، در بخـش کشـاورزی بـرای آبیـاری محصـولات مصـرف مـی‌شـود (Mirbalooch et al., 2020) و متوسط مصرف انرژی در کشـاورزی ایران سه برابر بیشتر از سطح جهانی است (Farajian et al., 2018)؛ همچنین میزان تولید CO_2 خالص موجود در جو حاصل فعالیـت‌هـای کشـاورزی در ایـران حـدود چهـار درصـد گـزارش شـده اسـت (Mohammadi et al., 2014). بنـابراین، محـدودیت منـابع آب و انرژی در کشور و آلودگی‌های زیست‌محیطـی طـی سـال‌هـای اخیـر موجب افزایش توجه به بحث پایداری شده است. باتوجـه بـه مصـرف بالای آب و انرژی در بخش کشاورزی و همچنین اهمیت این دو منبع در تأمین امنیت غذایی کشور، استفاده بهینه از آن‌ها و افزایش بهـره-وری، یکی از راهکارهای اساسـی بـرای دسـتیابی بـه توسـعه پایـدار کشاورزی می‌باشد؛ از طرفی، با توجه بـه محـدودیت منـابع طبیعـی و تأثیر استفاده شدید انرژی بر سلامت انسان و محیط زیسـت، بررسـی الگوی اسـتفاده از انـرژی در کشـاورزی و اثـرات زیسـت‌محیطـی آن حیاتی است.

درخصوص مصرف انرژی و انتشار گازهـای گلخانـه‌ای در بخـش کشاورزی مطالعات مختلفی در ایران و جهـان صـورت گرفتـه اسـت. نتایج مطالعه تقـی نـژاد و همکـاران (Taghinazhad et al., 2019) نشان داد، کل انرژی ورودی برای گندم آبـی (*Triticum aestivum* L.) حدود ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار بود کـه در بـین نهـاده‌هـای ورودی، میزان کود نیتروژن و سوخت دیزل به‌ترتیب با ۳۷/۳۸ درصـد و ۱۹/۰۳ درصد بیشترین سهم را داشتند. همچنـین طبـق نتـایج کـل انتشار N_2O، CH_4 و CO_2 حاصل از گنـدم آبـی بـه‌ترتیـب ۵۱۷/۱۴، ۱/۶۵ و ۱۲۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج مطالعه افروزی و زارع ابیانه (Afruzi & Zare Abyaneh, 2020) نشان داد، طی سال‌های آبی ۱۳۶۱–۱۳۹۶در دشت همدان، محصول کلزا (*Brassica napus* L.) با میانگین ۵۳۲/۹ میلی‌متر در سال کمترین نیاز خالص آبیـاری را داشته‌اند. کمالی (Kamali, 2021) در مطالعه خود به بررسـی میـزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در اسـتان مازنـدران پرداخـت. نتایج مطالعه نشان داد، در کشت بهاره، میزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای در دو ایستگاه ساری و دشت ناز بـه‌ترتیـب ۴۶۲۲ و ۴۶۰۷ مترمکعـب در

1- Greenhouse gases

هکتار بود. میسمی و جلالی (Maysami & Jalali, 2020) در مطالعه خود نشان دادند، در کشت گندم انرژی نهاده سوخت در بین نهاده‌های دیگر دارای بیشترین مقدار بود. افضلی‌نیا (Afzalinia, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافت که بیش از ۷۲ درصد مصرف انرژی در تولید گندم مربوط به آب آبیاری و الکتریسیته برای استحصال آب بود. همچنین بر اساس نتایج، میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده توسط گندم آبی در خاک‌ورزی مرسوم، ۱۸۳۲۸/۳۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار می‌باشد. رضوان‌طلب و همکاران (Rezvantalab et al., 2019) نشان دادند برای کشت یک هکتار گندم حدود ۱۶۲۳۱/۰۴ مگاژول در هکتار انرژی نیاز است و ۱۴۱۴/۰۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به جو آزاد می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مرادی و پورقاسمیان (Moradi & Pourghasemian, 2017) در هر سه محصول گندم، ذرت و جو (*Hordeum vulgare* L.) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن بیشتر از دیگر نهاده‌ها بود. میزان انتشار N_2O، CO_2 و CH_4 در گندم بیشتر از ذرت و آن هم بیشتر از جو بود.

نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) نشان داد تولید گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در استان خراسان رضوی به‌طور متوسط ۴۳/۲ گیگا ژول در هکتار انرژی ورودی نیاز دارد که از این میزان، آب آبیاری بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. همچنین نتایج بیانگر آن بود که اگرچه درصد قابل توجهی از واحدهای تحت بررسی ناکارا بودند، با این وجود زارعانی که دارای سطح زیرکشت بالاتر هستند، از الگوی مصرف انرژی مناسب‌تری برخوردار بوده و کارآیی فنی این واحدها نسبت به سایر واحدها بالاتر است. همچنین یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که کل انتشار CO_2، N_2O و CH_4 در سیستم‌های تولید گندم آبی به‌ترتیب ۱۹۸۱/۲۵، ۳۱/۱۸ و ۱/۸۷ کیلوگرم در هکتار است. زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) نشان دادند کل انرژی به‌کار رفته برای تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ۸۴۶۳۳ مگاژول در هکتار می‌باشد و میزان انرژی خروجی آن ۱۱۹۹۱۷ مگاژول در هکتار برآورد شد که بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به سوخت دیزل بود. نتایج مطالعه فان و همکاران (Fan et al., 2020) نیز نشان داد در بخش کشاورزی ۷۰ درصد انرژی به صورت غیرمستقیم و ۳۰ درصد به‌صورت مستقیم مصرف می‌شود. یافته‌های فبیانی و همکاران (Fabiani et al., 2020) نیز نشان داد در مصرف انرژی، سهم سوخت و کود شیمیایی در تولید گندم بیشتر از سایر نهاده‌ها است.

با توجه به مطالب ارائه شده، هدف از این مطالعه، تحلیل و مقایسه میزان مصرف آب و انرژی و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط محصولات عمده زراعی در دشت میاندربند است. محاسبه میزان مصرف آب و انرژی و CO_2 منتشر شده، نخستین گام جهت برنامه ریزی و مدیریت افزایش بهره‌وری با هدف تولید بهینه در شرایط محدودیت منابع آب و انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی حاصل از کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در دشت میاندربند استان کرمانشاه (34° 25´-34° 41´ E, 46° 49´- 47° 03´ N) و برای محصولات آبی غالب منطقه شامل گندم، جو، ذرت‌دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و کلزا در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام گرفت. مساحت این دشت حدود ۳۰۰ کیلومترمربع بوده که با دارا بودن منابع آب زیرزمینی و احداث شبکه آبیاری و زهکشی، به یکی از مناطق با ظرفیت بالا برای تولید محصولات زراعی در ایران تبدیل شده است. دشت میاندربند با ۱۲۱۳۵ هکتار از اراضی آبی، دارای بیشترین مقدار محصول آبی در بین دشت‌های استان کرمانشاه است. مدیریت ضعیف، عدم نظارت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و انرژی یکی از چالش‌های اساسی در این دشت می‌باشد. برداشت‌های بدون مجوز از منابع آب زیرزمینی و کشت محصولات نامتناسب با شرایط محیطی منجر به تخصیص ناکارا و اتلاف منابع آب و انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. همچنین عمده محدودیت‌های کشاورزی و زیست‌محیطی در منطقه مورد مطالعه، مربوط به آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق استفاده بیش از حد از سموم و کودهای شیمیایی برای تولید غذای بیشتر می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت این منطقه برای دستیابی به کشاورزی پایدار، در آینده با بحران منابع آب و انرژی برای تولید مواد غذایی روبرو خواهد شد؛ لذا لازم است میزان مصرف آب و انرژی و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط محصولات کشت شده انجام پذیرد تا از این طریق بتوان برنامه‌ریزی دقیق‌تر منطقه‌ای برای کشت محصولات با میزان آب و انرژی

مصرفی کمتر و همچنین آلاینده‌های کمتر ارائه گردد. بنابراین، دشت میاندربند نشان‌دهنده یک مطالعه موردی مناسب برای پژوهش مورد نظر است؛ چرا که موضوعاتی همچون حفاظت از آب‌های زیرزمینی، تولید مواد غذایی با مصرف آب و انرژی کمتر و کاهش اثرات زیست‌محیطی موضوعات درهم تنیده‌ای می‌باشند.

روش پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها

تحقیق حاضر از نظر رویکرد کلی، کمّی و از لحاظ هدف، کاربردی و از نوع تحقیقات توصیفی- پیمایشی است. جامعه آماری در این پژوهش، ۱۶۷۶ کشاورز بود که محصولات مورد مطالعه را کشت کرده بودند. حجم نمونه طبق جدول کرجسی و مورگان (krejcie and morgan, 1970)، ۳۱۵ کشاورز تعیین شد که با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای متناسب با حجم (بر مبنای محصولات مورد مطالعه) انتخاب شدند. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسش‌نامه محقق ساخته، مصاحبه و داده‌های ثانویه سازمان هواشناسی ایران (داده‌های میزان بارندگی، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) استفاده شد.

محاسبه آب و انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه: جهت محاسبه میزان انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه، ابتدا انرژی ورودی و خروجی محصولات اندازه‌گیری شد و سپس به انرژی معادل خود تبدیل شدند (جدول ۱). انرژی ورودی در سیستم‌های تولید مواد غذایی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد (Fabiani et al., 2020). انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب، سوخت دیزل و آب برای آبیاری در تولید محصولات کشاورزی است. برای محاسبه آب مصرفی توسط هر محصول، دو عنصر آب سبز و آب آبی محصولات محاسبه شد؛ امّا از آنجا که برای آب سبز که مربوط به بارندگی است، انرژی برای استخراج آب صرف نمی‌شود؛ لذا در این بخش فقط انرژی صرف شده برای استخراج آب آبی وارد فرمول‌های انرژی شد. لازم به توضیح است که در محاسبه انرژی لازم برای آبیاری، کارایی آبیاری مهم می‌باشد؛ چرا که هر چقدر کارایی آبیاری بالاتر باشد، یعنی آب کمتری تلف می‌شود و انرژی کمتری نیز جهت استخراج آب مورد نیاز است. بنابراین، در این بخش، کارایی آبیاری برای هر محصول نیز لحاظ گردید.

آب سبز حجم آبی است که از طریق باران تأمین می‌گردد و در مناطق غیراشباع خاک به‌صورت رطوبت ذخیره می‌شود (Elbehri & Sadiddin, 2016). آب آبی، حجم آبی است که از طریق آبیاری فراهم می‌گردد، یعنی همان آب‌های سطحی و آب‌های زیر زمینی (Behmanesh et al., 2016). نیاز آب سبز (CWR_{green}, $m^3.ha^{-1}.yr^{-1}$) و آب آبی (CWR_{blue}, $m^3.ha^{-1}.yr^{-1}$) به‌صورت معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند (Fan et al., 2020).

$$CWR_{green} = 10 * \sum_{n}^{d=1} ET_{green} \quad \text{(۱) معادله}$$

$$CWR_{blue} = 10 * \sum_{n}^{d=1} ET_{blue} \quad \text{(۲) معادله}$$

که در آن، ET_{green} ($mm.d^{-1}$) و ET_{blue} ($mm.d^{-1}$): به‌ترتیب تبخیر و تعرق حاصل از میزان بارش و آب آبیاری است. n: طول دوره رشد یک محصول در طول یک سال و مقدار ثابت ۱۰ نیز به‌منظور تبدیل عمق آب در میلی‌متر (mm) به حجم آب در سطح زمین $m^3.ha^{-1}$ استفاده می‌شود.

ET_{green} و ET_{blue} از طریق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$ET_{green} = min\ (ET_c, P_e) \quad \text{(۳) معادله}$$

$$ET_{blue} = max\ (0, ET_c, P_e) \quad \text{(۴) معادله}$$

که در آن، ET_c ($mm.d^{-1}$): تبخیر و تعرق محصول در هر ماه و P_e ($mm.d^{-1}$): بارندگی مؤثر در دسترس هر محصول است.

ET_c به‌صورت معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$ET_c = k_c \times ET_0 \quad \text{(۵) معادله}$$

که در آن، k_c : ضریب گیاهی و ET_0 $[t]$ ($mm.d^{-1}$): نیز تبخیر و تعرق مرجع در هر ماه می‌باشد.

در این مدل، معادله پنمن- مونتیث که مورد تأیید سازمان خوار و بار کشاورزی است، به‌عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شد و P_e با استفاده از فرمول تجربی به‌دست آمده توسط خدمات حفاظت از خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده محاسبه شد (Fan et al., 2020) (معادله ۶).

معادله (۶)

$$P_e = P \times (4.17 - 0.2 \times P) / 4.17, \ for\ P < 8.3\ mm.d^{-1}$$

$$P_e = 4.17 + 0.1 \times P, \quad for\ \ P \geq 8.3\ mm.d^{-1}$$

که در آن، P: میزان بارش روزانه است. همچنین در معادلات کارایی آبیاری نیز لحاظ شده است. محاسبات مربوط به‌میزان مصرف آب با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT تحلیل شد.

برای محاسبه نیروی الکتریسیته مورد نیاز برای پمپاژ آب از

معادله ۷ استفاده شد (Ahmad & Khan, 2009).

معادله (۷) $E= p \times t \times c$

که در آن، E: انرژی الکتریسته (MJ)، p: قدرت پمپ (kWh)، t: زمان کار پمپ و c: معادل انرژی در هر کیلووات ساعت است (1 kw = 3/6 MJ).

معادله (۸)

$$Ec,t=\sum (q_h\, h_{(c,t)} + q_m\, m_{(c,t)} + q_d\, d_{(c,t)} + q_e\, e_{(c,t)} + q_f\, f_{(c,t)} + q_p\, p_{(c,t)} + q_s\, s_{(c,t)} + q_w\, w_{(c,t)})$$

$$(c=1,2, ... 6)$$

که در آن، q_h: معادل انرژی لازم برای نیروی کـار انسـانی، q_m: انرژی لازم برای ماشین‌آلات، q_d: انرژی لازم برای سوخت دیزل، q_e: انرژی لازم برای تولید برق (الکتریسیته)، q_f: انرژی لازم بـرای تهیـه کود، q_p: انرژی لازم برای تهیه آفت‌کـش‌هـا، q_s: انـرژی لازم بـرای تهیه بذر و q_w: انرژی لازم برای آبیاری محصول می‌باشدکه انرژی‌ها ورودی در تولید محصول c هستند.

$h_{(c,t)}$: ساعت کاری نیروی انسانی برای هر هکتار، $m_{(c,t)}$: ساعت کار ماشین‌آلات در هر هکتار، $d_{(c,t)}$: مقدار سوخت دیزل استفاده شده، $e_{(c,t)}$: الکتریسیته برای استحصال آب، $f_{(c,t)}$: مقدار کود استفاده شـده، $p_{(c,t)}$: مقدار آفت‌کش استفاده شده، $s_{(c,t)}$: مقدار بذر اسـتفاده شـده و $w_{(c,t)}$: مقدار آبیاری می‌باشد.

لازم به ذکر است که در این پژوهش، عملکرد و کاه محصـولات مورد مطالعه به‌عنوان انرژی خروجی لحاظ شد.

محاسـبه گازهـای گلخانـه‌ای منتشـر شـده توسـط محصولات مورد مطالعه: تولید محصـولات کشـاورزی عـلاوه‌بـر صرف آب و انرژی، مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای وارد جـو نمـوده و اثرات زیست‌محیطی فراوانی را به بار خواهند آورد که تغییرات اقلیم و خشکسالی را تشدید می‌کنند. مقدار انتشار گازهـای گلخانـه‌ای بـرای ورودی‌های محصولات مورد مطالعه با استفاده از ضریب انتشار CO_2، N_2O و CH_4 برای ورودی‌های مختلف کـه در جـدول ۲ نشـان داده شده است؛ محاسبه شد.

از آنجـا کـه پتانسـیل گازهـای گلخانـه‌ای ایجـاد شـده توسـط محصولات کشاورزی در ایجاد تغییرات اقلیم و آلودگی زیست‌محیطی متفاوت است؛ لذا مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیم در سـال ۲۰۰۷، هـر گاز را به پتانسیل گرمایش جهانی[1] (GWP) در ارتباط بـا کـربن دی‌اکسید معادل سازی نموده است و انتشار گازهای گلخانـه‌ای برحسـب گاز مرجع (CO_2) اندازه‌گیری می‌شوند؛ بر ایـن اسـاس، GWP بـرای CO_2 (ظرف مدت ۱۰۰ سال) برابر با ۱، برای CH_4 برابر با ۲۱ و برای N_2O برابر با ۳۱۰ می‌باشـد (Soni et al., Yousefi et al., 2016 ; 2013). اثر کل گلخانـه‌ای مربـوط بـه انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای از طریق معادله ۹ محاسبه می‌شود.

معادله (۹) $GWP\ CO_{2eq} \sum GWP_c \times m_c \quad (c=1,2, ... 6)$

که در آن، m_c: جرم (kg) گازهای انتشار یافته است (که با توجـه به ورودی‌های کشاورزی و جدول ۲ محاسبه می‌گـردد). عـدد نهـایی حاصل از معادله ۹ به‌صورت معادل CO_2 تولیـد شـده (CO_2 eq) مـی‌باشد.

استفاده غیرمستقیم از انرژی شامل انرژی لازم برای تولید کـود، سموم شیمیایی و آفت‌کش‌ها، بذرها و ماشین‌آلات کشاورزی می‌باشـد (Fabiani et al., 2020). در نهایت، به‌منظور محاسبه انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه (E_c) از معادله ۸ استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار آب مصرفی محصولات مورد مطالعه

در جدول ۳ نوع سیستم آبیاری، اندازه مزرعه و نوع نظـام بهـره‌برداری مربوط به هر محصول نشان داده شده است. همـان‌طـور کـه نتایج نشان می‌دهد، در محصولات مورد مطالعه به‌جز کلـزا و گوجـه‌فرنگی، سیستم آبیاری سطحی بر تحت فشار غالب است و همین امـر موجب پایین آمدن کارایی آبیاری در آن‌ها شده است؛ همچنـین اکثـر محصولات دارای سطح زیر کشت کمتر از پنج هکتار می‌باشـند (جـو، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی). از نظر نوع نظام بهره‌برداری می‌توان گفت دو محصول گوجـه‌فرنگـی و سـیب‌زمینـی اکثـراً دارای سیستم اجاره‌ای هستند و در بقیه محصولات، کشاورزان خود مالک بر زمین‌هایشان هستند.

1- Global warming potential

جدول ۱- معادل‌های انرژی برای تولید محصولات کشاورزی آبی
Table 1- Energy equivalents for the production of irrigated agricultural products

نوع Type	واحد Unit	معادل‌های انرژی Energy equivalents (MJ unite^{-1})	منابع Reference
		الف: انرژی مستقیم ورودی A: Direct input energy	
۱- کار انسان 1- Human labor	H	1.96	Fabiani et al. (2020)
۲- سوخت دیزل 2- Diesel fuel	L	56.31	Jat et al. (2020)
۳- الکتریسیته (برق) 3- Electricity	kWh	3.6	Yousefi et al. (2016)
۴- آب برای آبیاری 4- Water for irrigation	M^3	1.02	Jat et al. (2020)
		ب: انرژی غیرمستقیم ورودی B: Indirect input energy	
۱- ماشین‌آلات 1- Machinery	H	62.7	Fabiani et al. (2020)
۲- کودها 2- Fertilizers			
a) نیتروژن (N) a) Nitrogen (N	kg	60.60	Jat et al. (2020)
b) فسفات (P_2O_5) b) Phosphate (P_2O_5)	kg	11.10	Jat et al. (2020)
c) پتاسیم (K_2O) c) Potassium (K_2O)	kg	6.7	Jat et al. (2020)
d) کود دامی و کود مزرعه d) Farmyard manure	kg	0.30	Yousefi et al. (2016)
۳- آفت‌کش‌ها 3- Pesticides			
a) حشره‌کش‌ها a) Insecticides	kg	184.63	Jat et al. (2020)
b) علف‌کش‌ها b) Herbicides	kg	254.45	Jat et al. (2020)
c) قارچ‌کش‌ها c) Fungicides	kg	181.9	Ghiyasi et al. (2008)
۴- بذر محصولات 4- Seed products			
a) بذر غلات a) Cereal grain	kg	14.7	Jat et al. (2020)
b) بذر کلزا b) Rapeseed seeds	kg	3.6	Beheshti Tabar et al. (2010)
c) سیب‌زمینی c) Potato	kg	3.6	Hatirli et al. (2005)
d) بذر گوجه‌فرنگی d) Tomato seeds	kg	1.00	Singh et al. (2010)
		ج) خروجی C) Output	
۱- دانه غلات 1- Cereal grain	kg	14.7	Jat et al. (2020)
۲- دانه روغنی کلزا 2) Rapeseed seeds	kg	25	Beheshti Tabar et al. (2010)
۳- سیب‌زمینی 3- Potato	kg	3.6	Hatirli et al. (2005)
۴- گوجه‌فرنگی 4- Tomato	kg	0.8	Esengun et al. (2007)
۵- کاه و کلش غلات 5- Cereal straw	kg	12.5	Jat et al. (2020)

جدول ۲- فاکتورهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به ورودی‌های (نهاده‌ها) کشاورزی
Table 2 - Emission factors of greenhouse gases related to agricultural inputs

ورودی‌ها Inputs	فاکتورهای انتشار Dissemination factors CO_2	CH_4	N_2O	منابع Reference
سوخت دیزل Diesel	74.1×10^{-3}	1×10^{-5}	6.1×10^{-8}	Soni et al. (2013)
الکتریسته Electricity	61.20×10^{-3}	0.02×10^{-3}	8.82×10^{-3}	Tzilivakis et al. (2005)
نیتروژن (N) N	1.3	–	1.5×10^{-2}	
فسفات (P_2O_5) P	0.2	–	–	
پتاسیم (K_2O) K	0.15	–	–	
قارچ‌کش‌ها Fungicides	3.9	–	–	Soni et al. (2013)
حشره‌کش‌ها Insecticides	5.1	–	–	
علف‌کش‌ها Herbicides	6.3	–	–	
GWP معادل CO_2 GWP CO_2 equivalence factor	1	21	310	

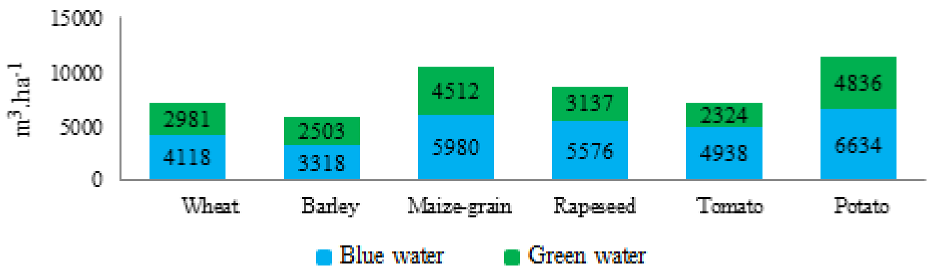
جدول ۳- نوع سیستم آبیاری، اندازه مزرعه و نوع نظام بهره‌برداری مربوط به محصولات مورد مطالعه
Table 3- Type of irrigation system, farm size and type of exploitation system related to the studied products

نام محصول Product name		گندم Wheat	جو Barley	ذرت‌دانه‌ای Maize-grain	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
کارایی آبیاری Irrigation efficiency		58%	57%	57%	64%	68%	58%
سیستم آبیاری Irrigation system	تحت فشار Pressurized	36%	33%	33%	56%	51%	42%
	سطحی Surface	64%	67%	67%	44%	49%	58%
اندازه مزرعه Farm size	زیر ۵ هکتار Under 5 ha	23%	82%	55%	46%	95%	56%
	۵ تا ۱۰ هکتار 5- 10 ha	50%	15%	34%	49%	5%	39%
	۱۰ تا ۱۵ هکتار 10-15 ha	23%	0%	7%	5%	0%	5%
	بالای ۱۵ هکتار Above 15 ha	4%	3%	4%	0%	0%	0%
نظام بهره‌برداری Exploitation system	مالکی Owner	97%	100%	99%	98%	42%	48%
	اجاره‌داری Leasehold	3%	0%	1%	2%	58%	52%

در شکل ۱ میزان آب سبز و آب آبی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، تولید محصولات غالب در منطقه، ۵۰۸۲۷ مترمکعب در هر هکتار آب مصرف می‌کنند که ۶۰ درصد آن آب آبی و ۴۰ درصد آن آب سبز می‌باشد و بیشترین سهم در مصرف آب به‌ترتیب مربوط به تولید سیب‌زمینی (۲۳ درصد)، ذرت‌دانه‌ای (۲۱ درصد)، کلزا (۱۷ درصد)، گوجه‌فرنگی (۱۴/۵ درصد)، گندم (۱۳/۵ درصد) و جو (۱۱ درصد) بود. بر اساس نتایج پژوهش، میزان آب مصرفی کلزا ۵۵۷۶ مترمکعب در هکتار بود که در این راستا، نتایج مطالعه افروزی و زارع ابیانه (Afruzi & Zare Abyaneh, 2020) نیز نشان داد، طی سال‌های آبی ۹۶-۱۳۶۱ در دشت همدان، نیاز آبی محصول کلزا به‌طور میانگین ۵۳۲۹ مترمکعب در هکتار (۵۳۲/۹ میلی‌متر) می‌باشد. همچنین در این پژوهش میزان مصرف آب توسط ذرت دانه‌ای، ۵۹۸۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد که این یافته نزدیک به مقدار محاسبه شده توسط کمالی (Kamali, 2021) می‌باشد؛ چرا که ایشان نیز در مطالعه خود میزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای در دو ایستگاه ساری و دشت ناز به‌ترتیب ۴۶۲۲ و ۴۶۰۷ مترمکعب در هکتار برآورد نمودند.

باتوجه به نتایج تحقیق، با اینکه گوجه‌فرنگی دفعات بیشتری آبیاری می‌شود؛ امّا با این وجود مقدار مصرف آب در آن پایین است. این امر به این دلیل می‌باشد که اکثر گوجه‌کارهای منطقه مورد مطالعه از سیستم آبیاری نواری (تیپ) استفاده می‌کنند که این امر موجب افزایش کارایی آبیاری در آن شده است؛ امّا در سایر کشت‌ها اکثراً سیستم آبیاری به‌صورت غرقابی و به‌ندرت به‌صورت بارانی بوده که این امر موجب پایین آمدن کارایی آبیاری شده است. بنابراین، با نگاهی به شکل ۱ مشخص می‌شود، میزان مصرف آب توسط محصولات مورد مطالعه به‌جز گوجه‌فرنگی، بیشتر از میزان آب مورد نیاز در طول دوره رشد محصولات مورد نظر از سوی کارشناسان می‌باشد و همین امر موجب افزایش مصرف آب و انرژی در بخش کشاورزی شده است. در این زمینه می‌توان گفت، اکثر کشاورزان منطقه از آب سد گاوشان برای آبیاری مزارع خود استفاده می‌کنند و هزینه بسیار پایینی به‌ازای آن پرداخت می‌کنند که این امر موجب افزایش مصرف آب و انرژی (بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب پایین آمدن سطح آب و افزایش انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آن می‌شود) و در نتیجه، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن، آلودگی زیست‌محیطی شده است.

اگرچه تاکنون مصرف استاندارد آب به تفکیک هر محصول در بخش کشاورزی ارائه نشده است؛ امّا اخیراً مطالعه‌ای که توسط مکونن و هوکسترا (Mekonnen & Hoekstra, 2020) انجام گرفت، نشان داد که ۷۰ درصد از ناپایداری مصرف آب آبی در بخش کشاورزی در جهان در پنج کشور هند (۳۱ درصد)، چین (۱۳ درصد)، ایالات متحده (۱۲ درصد)، پاکستان (۱۰ درصد) و ایران (۴ درصد) و به‌دلیل تولید محصولاتی همچون گندم، برنج، پنبه، نیشکر، ذرت دانه‌ای، جو و کلزا می‌باشد. البته در این مطالعه عنوان شده است که دلیل ناپایداری آب در بخش کشاورزی در ایران به‌دلیل کشت محصولاتی همچون گندم (۲۷ درصد)، برنج (۱۴ درصد)، چغندرقند (۶ درصد) و سیب‌زمینی (۴ درصد) می‌باشد.



شکل ۱- آب سبز و آب آبی مصرف شده توسط محصولات مورد مطالعه در هر هکتار ($m^3.ha^{-1}$)

Fig. 1- Green and blue water consumed by the studied crops per hectare in terms of cubic meters

میزان نهاده‌های ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه

طبق نتایج حاصل از مطالعه، در سیستم کشاورزی دشت میاندربند، استفاده از نیروی کار انسانی در گوجه‌فرنگی (۱۶۸۸/۱۴ ساعت در هکتار) بالاتر از سایر محصولات بود؛ چرا که در اکوسیستم تولید گوجه‌فرنگی به‌دلیل برداشت سه چین و استفاده از نیروی کارگر

در هر مرحله، حجم استفاده از نیروی کار انسانی بالاتر از سایر کشت-ها است. سیب‌زمینی (۵۱۳ ساعت در هکتار) و ذرت‌دانه‌ای (۱۴۳/۱۹ ساعت در هکتار) به‌ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار گرفتند. علاوه‌براین، سیب‌زمینی با ۳۲/۸۸ ساعت در هکتار بیشترین استفاده از ماشین‌آلات و در نتیجه، بیشترین میزان مصرف سوخت دیزل (۲۳۰/۷۴ لیتر در هکتار) را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج، در اکثر محصولات مورد مطالعه در بین نهاده‌های ورودی، میزان کود دامی، آب برای آبیاری، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را داشتند. نتایج مطالعه تقی نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) نیز نشان داد در تولید گندم آبی در بین نهاده‌های ورودی، میزان کود نیتروژن با ۳۷/۳۸ درصد بیشترین سهم را داشت.

جدول ٤- مقدار نهاده‌های ورودی و خروجی (در هکتار) در کشاورزی دشت میاندربند

Table 4- The amount of input and output inputs (per hectare) in agriculture of Miandarband plain

مقدار (ورودی و خروجی) Quantity (input and output)	کمیت در واحد سطح Quantity per unit area (ha)					
	گندم Wheat	جو Barley	ذرت دانه‌ای Maize-grain	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
الف) ورودی‌ها A) Inputs						
کار انسان Human labor (h)	69.86	56	143.19	32.4	1688.14	513
ماشین‌آلات Machinery (h)	20.15	21.43	24.44	18.77	21.50	32.88
سوخت دیزل Diesel fuel (L)	160.21	156.66	201.66	143.95	158.58	230.74
الکتریسیته Electricity (kWh)	1004	493.91	3184	711.9	5425	3281.2
آب برای آبیاری Water for irrigation (m^3)	4118	3318	5980	5576	4938	6634
کودها Fertilizers (kg)						
کود دامی Farmyard manure	9800	12500	11730	0	14448	13643
نیتروژن N	302.94	309.37	550.94	265.11	60.42	357.31
فسفات Phosphate (P_2O_5)	130.78	142.18	150.90	131.39	121.29	154.87
پتاسیم K (K_2O)	43.68	47.81	124.52	81	103.42	94.11
آفت‌کش‌ها Pesticides (kg)						
حشره‌کش‌ها Insecticides	0.50	0.5	2	2.15	2	1
علف‌کش‌ها Herbicides	2	1.03	3	3	0	3
قارچ‌کش‌ها Fungicides	0.50	0.50	0	0	1	6
بذر محصولات Seed products (kg)	224.52	191.81	25.45	5.40	0.50	4865
ب) خروجی B) Output (kg)						
عملکرد Product yield	4670	4424	10420	3432.3	63000	33658
کاه و کلش Straw	4560	4273	0	0	0	0

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی بسیار بالا است. در این زمینه می‌توان گفت، کشاورزان دستیابی به سود آنی را بر سود آتی ترجیح می‌دهند و به بهای تولید بیشتر و به تبع آن، دستیابی به عملکرد و سود بیشتر، روند کاهش منابع طبیعی غیرانسانی، گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم را سریع‌تر کرده‌اند؛ غافل از اینکه بخش کشاورزی اولین بخشی است که تبعات منفی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم را احساس می‌کند.

میزان انرژی ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه

پس از برآورد نهاده‌های ورودی و خروجی، کلیه نهاده‌ها به معادل انرژی خود تبدیل شدند که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین درصد انرژی ورودی در شکل ۲ آمده است. طبق نتایج، کل مصرف انرژی برای تولید محصولات زراعی در دشت میاندربند ۹۷۵۶۰۸/۵۰ مگاژول در هکتار بود که ۳۲۵۳۷۳/۹۰ مگاژول در هکتار مربوط به انرژی ورودی و ۶۵۰۲۳۴/۶۰ مگاژول در هکتار مربوط به انرژی خروجی می‌باشد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان مصرف انرژی ورودی مربوط به سیب‌زمینی (۸۲۲۸۷/۸۵ مگاژول در هکتار) و سپس ذرت‌دانه‌ای (۷۱۶۵۲/۵۰ مگاژول در هکتار) و گوجه‌فرنگی (۴۸۷۳۹/۵۲ مگاژول در هکتار) بود. نتایج مطالعه فان و همکاران (Fan et al., 2020) نیز نشان داد، بیشترین مصرف انرژی به‌ترتیب مربوط به سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و گوجه‌فرنگی می‌باشد. مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) در مورد میزان انرژی مصرفی در کشت سیب‌زمینی بسیار به نتایج مطالعه حاضر نزدیک می‌باشد؛ چرا که آنان در مطالعه خود، کل انرژی به‌کار رفته برای تولید سیب‌زمینی را ۸۴۶۳۳ مگاژول در هکتار برآورد نمودند. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) نیز نشان داد، تولید گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی به‌طور متوسط ۴۳/۲ گیگا ژول در هکتار (معادل ۴۳۲۰۰ مگاژول در هکتار) انرژی ورودی نیاز دارد. نتایج حاکی از آن بود که تولید گندم در دشت میاندربند به‌طور متوسط ۴۵۲۷۴/۴۰ مگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز دارد. در این راستا، نتایج مطالعه تقی نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) نشان داد کل انرژی ورودی برای گندم آبی حدود ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار بود. همچنین طبق ۴۵ درصد مربوط به انرژی مستقیم (آماده‌سازی زمین، زراعت و آبیاری) و ۵۵ درصد مربوط به انرژی غیرمستقیم (کودها و سموم شیمیایی، بذرها، ماشین‌آلات) بود. نتایج مطالعه فان و همکاران (Fan et al., 2020) نیز نشان داد، در بخش کشاورزی بیشترین میزان انرژی به‌صورت غیرمستقیم مصرف می‌شود.

نتایج حاصل از مطالعه نشان داد، در محصولات مورد مطالعه کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و آب برای آبیاری بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف می‌کنند. میسمی و جلالی (Maysami & Jalali, 2020) نیز در مطالعه خود نشان دادند، در کشت گندم انرژی نهاده سوخت در بین نهاده‌های دیگر دارای بیشترین مقدار است. همچنین افضلی‌نیا (Afzalinia, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافت که بیش از ۷۲ درصد مصرف انرژی در تولید گندم مربوط به آب آبیاری و الکتریسیته برای استحصال آب بود. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) در استان خراسان رضوی نشان داد، تولید در تولید گوجه‌فرنگی، آب آبیاری بیشترین انرژی را مصرف می‌کند. طبق مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) نیز بیشترین میزان مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی مربوط به سوخت دیزل بود. فبیانی و همکاران (Fabiani et al., 2020) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که در تولید گندم سهم سوخت و کود شیمیایی بیشتر از سایر ورودی‌ها است. البته در گوجه‌فرنگی، الکتریسته برای پمپاژ آب بیشترین میزان انرژی را مصرف می‌کند؛ این امر به این دلیل است که بیشتر گوجه‌کاران از پمپ‌های برقی برای برداشت آب زیرزمینی استفاده می‌کنند، این در حالی است که سایر بهره‌برداران بیشتر، از پمپ‌های دیزلی بهره می‌برند که این امر موجب بالا رفتن مصرف سوخت و پایین آمدن مصرف الکتریسته در آن‌ها شده است.

میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط محصولات مورد مطالعه

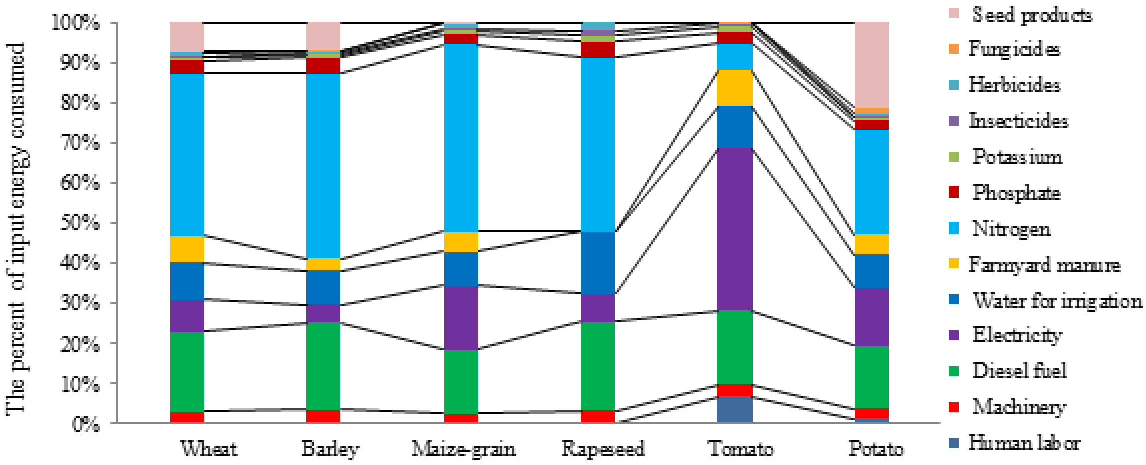
مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2، CH_4 و N_2O) در هر هکتار از محصولات مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد کل انتشار CO_2، N_2O و CH_4 توسط محصولات مورد مطالعه به‌ترتیب ۳۷۲۹/۷۹، ۱۵۲/۰۵ و ۰/۲۹۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین میزان تولید CO_2 مربوط به ذرت‌دانه‌ای ($kg.ha^{-1}$ ۱۰۰۳/۹۸) و کمترین میزان مربوط به کلزا ($kg.ha^{-1}$ ۴۶۷/۱۷) می-

باشد. همچنین گوجه‌فرنگی با تولید ۴۸/۷۵ کیلوگرم در هکتـار N_2O، بیشترین میزان N_2O را در جو ایجاد می‌کند. لازم به ذکر است، جـو آبی کمترین میزان تولید N_2O ($8/99$ $kg.ha^{-1}$) را دارا می‌باشد.

جدول ۵- میزان انرژی ورودی و خروجی در کشاورزی دشت میاندربند

Table 5- The amount of input and output energy in agriculture of Miandarband plain

مقدار (ورودی و خروجی) Quantity (input and output)	معادل انرژی کل Total energy equivalents ($MJ.ha^{-1}$)					
	گندم Wheat	جو Barley	ذرت دانه‌ای Maize	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
الف) ورودی‌ها A) Inputs						
کار انسان Human labor (h)	136.92	109.76	280.65	63.50	3308.75	1005.48
ماشین‌آلات Machinery (h)	1263.40	1343.66	1532.38	1176.87	1348.05	2061.57
سوخت دیزل Diesel fuel (L)	9021.42	8821.52	11355.47	8105.82	8929.63	12992.96
الکتریسیته Electricity (kWh)	3614.40	1778.07	11462.40	2562.84	19530	11812.32
آب برای آبیاری Water for irrigation (m^3)	4200.36	3384.36	6099.60	5687.52	5036.76	6766.68
کودها Fertilizers (kg)						
کود دامی Farmyard manure	2940	1227.87	3519	0	4334	4092.90
نیتروژن N	18358	18747.82	33387	16065.66	3237.25	21652.98
فسفات Phosphate (P_2O_5)	1451.65	1578.19	1675	1458.42	1346.31	1719.05
پتاسیم K (K_2O)	295.65	320.32	834.28	542.70	692.91	630.53
آفت‌کش‌ها Pesticides (kg)						
حشره‌کش‌ها Insecticides	92.31	92.31	369.26	396.95	369.26	184.63
علف‌کش‌ها Herbicides	508.90	262.08	763.35	763.35	0	763.35
قارچ‌کش‌ها Fungicides	90.95	90.95	0	0	181.90	1091.40
بذر محصولات Seed products (kg)	3300.44	2819.60	374.11	19.44	0.50	17514
کل انرژی ورودی Total energy input (MJ)	45274.40	40576.51	71652.50	36843.07	48739.52	82287.85
ب) خروجی B) Output (kg)						
عملکرد Product yield	68649	65032.80	148764	85807.50	50400	121168.80
کاه و کلش Straw	57000	53412.50	0	0	0	0
کل انرژی خروجی Total energy output (MJ)	125649	118445.30	148764	85807.50	50400	121168.80
مجموع کل انرژی Total energy (MJ)	170923.40	159021.80	220416.50	122650.60	99139.52	203456.70



شکل ۲- مقدار انرژی ورودی مصرف شده توسط محصولات مورد مطالعه در هر هکتار

Fig. 2- The amount of input energy consumed by the studied crops per hectare

نتایج پژوهش در زمینه میزان تولید CH_4 نشان داد، بیشترین و کمترین میزان انتشار آن به‌ترتیب مربوط به گوجه‌فرنگی ($kg.ha^{-1}$ ۱- ۱۰× ۱/۱) و جو آبی ($kg.ha^{-1}$ ۲-۱۰× ۱/۱) می‌باشد. در کل، می‌توان گفت بر اساس نوع گازهای گلخانه‌ای، انتشار CO_2 بسیار بیشتر از انتشار N_2O و CH_4 در هکتار است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه، میزان تولید CO_2 ، N_2O و CH_4 در محصول گندم به‌ترتیب ۵۱۶/۹۵، ۱۳/۴۰ و ۰/۰۲۲ کیلوگرم در هکتار بود. در این راستا، مطالعه یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) نیز نشان داد میزان تولید CO_2، N_2O و CH_4 مربوط به گندم آبی به‌ترتیب ۱۹۸۱/۲۵، ۳۱/۱۸ و ۱/۸۷ کیلوگرم در هکتار است. همچنین تقی‌نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) در مطالعه خود کل انتشار CO_2، N_2O و CH_4 حاصل از گندم آبی را به‌ترتیب ۱۲۷۱/۲۵، ۵۱۷/۱۴ و ۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. طبق نتایج حاصل از پژوهش، در تمامی محصولات مورد مطالعه به‌جز گوجه‌فرنگی بیشترین سهم از انتشار CO_2 مربوط به استفاده از کود نیتروژنه بود. بنابراین، بهبود مدیریت در مصرف این کود می‌تواند موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای گردد؛ همان‌طور که چنگ و همکاران (Cheng et al., 2014) بیان نمودند که اگر کارایی استفاده از کود نیتروژنه برای تولید برنج، گندم و ذرت دانه‌ای بهبود یابد، می‌توان موجب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای به‌میزان ۴۳۸ مگاتن معادل CO_2 در هکتار شد.

همچنین بیشترین میزان انتشار N_2O در محصولات مورد مطالعه (به‌جز جو) مربوط به استفاده از انرژی الکتریسیته برای آبیاری بود. بیشترین سهم انتشار CH_4 در تمام محصولات برای الکتریسته ثبت شد. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) در مطالعه خود به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. همان‌طور که در شکل۳ و جدول ۶ نشان داده شده است؛ کل GWP، ۵۰۸۷۲/۵۲ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود. گوجه‌فرنگی با انتشار ۱۵۵۹۲/۴۸ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار و جو آبی با انتشار ۳۲۷۹/۸۸ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به‌ترتیب، بیشترین و کمترین سهم را در GWP دارند. رضوان‌طلب و همکاران (Rezvantalab et al., 2019) نشان دادند، کشت یک هکتار گندم به‌میزان ۱۴۱۴/۰۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار گازهای گلخانه‌ای به جو آزاد می‌کند. همچنین بر اساس مطالعه افضلی نیا (Afzalinia, 2020) میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده توسط گندم آبی در خاک‌ورزی مرسوم، ۱۸۳۲۸/۳۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار می‌باشد. لازم به ذکر است که تفاوت مقدار عددی در پژوهش‌های فوق با پژوهش حاضر می‌تواند به‌دلیل متفاوت بودن تاریخ کشت و شرایط آب و هوایی باشد.

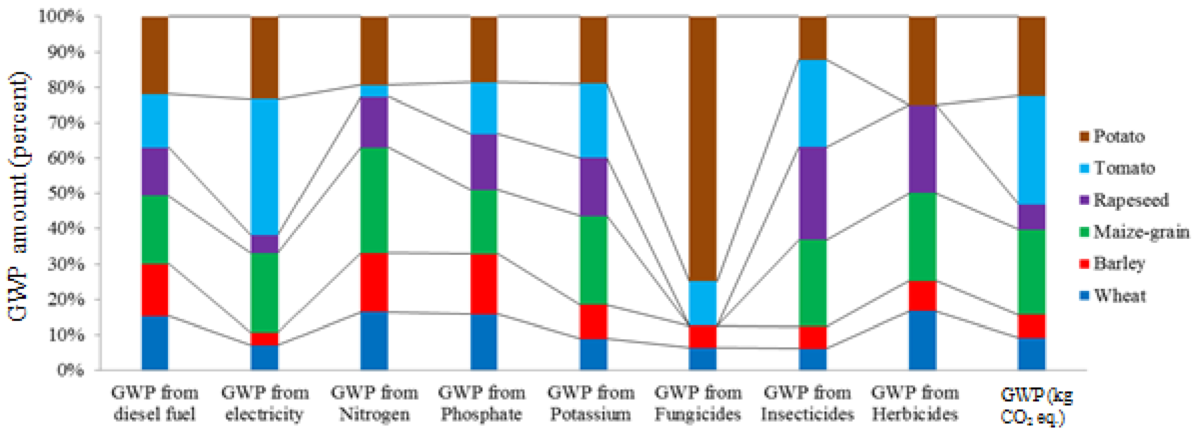
با نگاهی به جدول ۳ و مقدار آب و انرژی مصرفی و همچنین GWP تولید شده توسط محصولات مورد مطالعه می‌توان گفت، هر چه سطح مزرعه کوچک‌تر باشد، میزان مصرف آب و انرژی بالاتر بوده و میزان GWP نیز بیشتر است (گوجه، ذرت و سیب‌زمینی بیش از ۵۰ درصد دارای سطح زیر کشت کمتر از پنج هکتار هستند).

جدول ٦- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و پتاسیل گرمایش جهانی (GWP) مربوط به محصولات مورد مطالعه
Table 6- The amount of greenhouse gas emissions (GHG) and global warming potential (GWP) related to the studied crops

نام محصول Product name	ورودی Inputs	فرم انتشار گاز Gas emission form			GWP	GWP (kg CO_{2eq})
		CH_4	N_2O	CO_2		
گندم Wheat	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2×10^{-3}	1×10^{-5}	11.87	11.91	4671.21
	الکتریسته Electricity (kWh)	2×10^{-2}	8.86	61.44	2807	
	نیتروژن Nitrogen (kg)	0	4.54	393.82	1802.49	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	26.16	26.16	
	پتاسیم K (kg)	0	0	6.55	6.55	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	1.95	1.95	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	2.55	2.55	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	12.60	12.60	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	2.2×10^{-2}	13.40	516.95	-	–
جو Barley	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.5×10^{-3}	1×10^{-5}	11.61	11.64	3279.88
	الکتریسته Electricity (kWh)	9.8×10^{-3}	4.35	30.23	1380.88	
	نیتروژن N (kg)	0	4.64	402.18	1840.75	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	28.44	28.44	
	پتاسیم K (kg)	0	0	7.17	7.17	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	1.95	1.95	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	2.55	2.55	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	6.49	6.49	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.1×10^{-2}	8.99	490.61	-	–
ذرت دانه‌ای Maize-grain	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2×10^{-3}	1.2×10^{-5}	14.94	14.98	12272.93
	الکتریسته Electricity (kWh)	6.3×10^{-2}	28.08	194.86	8901.89	
	نیتروژن N (kg)	0	8.26	716.22	3278.09	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	30.18	30.18	
	پتاسیم K (kg)	0	0	18.67	18.67	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	0	0	

	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.2	10.2	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	6.5 ×10^{-2}	36.34	1003.98	-	–
کلزا Rapeseed	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.4 ×10^{-3}	8.7 ×10^{-6}	10.66	10.69	3646.74
	الکتریسته Electricity (kWh)	1.4 ×10^{-2}	6.27	43.56	1990.34	
	نیتروژن N (kg)	0	3.97	344.64	1577.40	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	26.27	26.27	
	پتاسیم K (kg)	0	0	12.15	12.15	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	0	0	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.96	10.96	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.5 ×10^{-2}	10.25	467.17	-	–
گوجه‌فرنگی Tomato	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.5 ×10^{-3}	9.7 ×10^{-6}	11.75	11.78	15592.48
	الکتریسته Electricity (kWh)	1 ×10^{-1}	47.84	332.01	15167.33	
	نیتروژن N (kg)	0	9 ×10^{-1}	78.54	359.49	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	24.25	24.25	
	پتاسیم K (kg)	0	0	15.51	15.51	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	3.9	3.9	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.2	10.2	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	0	0	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.1 ×10^{-1}	48.75	476.17	-	-
سیب‌زمینی Potato	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2.3 ×10^{-3}	1.4 ×10^{-5}	17.09	17.15	11409.28
	الکتریسته Electricity (kWh)	6.5 ×10^{-2}	28.94	200.80	9173.64	
	نیتروژن N (kg)	0	5.35	464.50	2125.99	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	30.97	30.97	
	پتاسیم K (kg)	0	0	14.11	14.11	

	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	23.4	23.4	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	5.1	5.1	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	6.7 ×10^{-2}	34.29	774.90	-	–



شکل ۳- میزان GWP مربوط به محصولات مورد مطالعه

Fig. 3- GWP amount related to the studied products

در چنین مزارعی، کشاورز مزیت مقیاس را از دست داده است و با فشار بر زمین از طریق افزایش دور آبیاری، مصرف کود و سم بیشتر خواستار کسب مزیت کارآیی است. از سوی دیگر، به‌دلیل وسعت کم مزارع، تکنولوژی‌های روزآمد کمتری به‌کار می‌برند و از این طریق، هدررفت آب و انرژی به‌صورت غیرمستقیم افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) نیز بیانگر این بود که در تولید گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی اگرچه درصد قابل توجهی از واحدهای تحت بررسی ناکارا بودند، با این وجود کشاورزانی که دارای سطح زیرکشت بالاتر هستند، از الگوی مصرف انرژی مناسب‌تری برخوردار بوده و کارآیی فنی این واحدها نسبت به سایر واحدها بالاتر است. نتایج نشان داد، محصولاتی که عمدتاً در کشاورزی منطقه با نظام اجاره‌داری کشت می‌شوند، بیشترین مصرف نهاده را داشته و تأثیر منفی بر محیط‌زیست منطقه و گرمایش جهانی دارند. در این زمینه، می‌توان گفت اولاً کشاورزان مستأجر در این زمینه از تجربه کافی برخوردار نبوده و مدیریت ضعیف‌تری بر مزرعه دارد؛ ثانیاً مستاجران زمین‌های منطقه سعی می‌کنند در مدت زمان کم‌تری، بیشترین بهره اقتصادی را از زمین ببرند و همین امر موجب افزایش فشار بر منابع می‌شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، ارزیابی جامعی از میزان مصرف آب و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند بر اساس یک بررسی میدانی است. نتایج مطالعه حاصل، بیانگر ناکارآمدی کشاورزی در دشت میاندربند و در نتیجه، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌واسطه مصرف زیاد منابع بود. این ناکارآمدی می‌تواند به دلایلی همچون کارایی پایین آبیاری، ضعف نظارت از طرف ارگان‌های ذی‌ربط، وجود تعداد زیاد چاه‌های غیرمجاز، سوء مدیریت و عطش بیش از حد رشد، مدیریت ناهماهنگ، فقدان نگرش درازمدت در مصرف آب برای آبیاری و به‌ویژه نوع نظام بهره‌برداری از زمین باشد. نتایج نشان داد، برداشت آب در منطقه بیش از نیاز آبی محصولات صورت می‌پذیرد و همین امر موجب افزایش مصرف آب و درنتیجه افزایش مصرف انرژی و افزایش تولید N_2O به‌عنوان یکی از انواع گازهای گلخانه‌ای در منطقه شده است. بنابراین، اقدامات اساسی برای افزایش بهره‌وری آب در منطقه برای

کاهش خطر ورشکستگی آب ضروری است. به‌علاوه، رفتار مصرف آب کشاورزان (تمایل به استفاده حداکثری از منابع)، نیاز به مدیریت بیشتر مصرف آب را افزایش می‌دهد. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه، بیشتر سیستم‌های آبیاری به‌صورت سطحی می‌باشد؛ لذا، استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار، به‌خصوص سیستم میکرو، می‌تواند موجب پایداری محصولات کشاورزی گردد. همچنین در کنار افزایش کارایی آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری میکرو، افزایش قیمت آب و انرژی در بخش کشاورزی می‌تواند در استفاده بهینه از آب و انرژی و کاهش مصرف آن‌ها مؤثر باشد. البته باید سیاستگذاری و برنامه‌ریزی در این‌زمینه به‌گونه‌ای باشد که منافع کشاورزان نیز تضمین گردد و هم‌زمان با افزایش قیمت این دو منبع طبیعی (که موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود)، میزان درآمد کشاورزان نیز افزایش یابد.

نتایج پژوهش نشان داد، استفاده زیاد از کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی علاوه‌بر مصرف بالای انرژی در این بخش، موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. لذا، در این زمینه پیشنهاد می‌شود از طریق برگزاری کلاس-های آموزشی و ترویجی و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و ذینفعان در زمینه اثرات منفی کودها و سموم شیمیایی در درازمدت بر عملکرد محصولات کشاورزی و تغییرات اقلیم، تلاش شود. همچنین تعیین مقدار مناسب کود جهت کشت و ترویج و تشویق کشاورزان در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و یا استفاده از کودهای آلی و یا شیمیایی جایگزین با توجه به نتایج آزمایش‌های خاک و نظر کارشناسان کشاورزی منطقه، می‌تواند تا حدی از اثرات سوء آن‌ها بکاهد. به‌عنوان مثال کود زیستی فسفاته بارور-۲ جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی فسفاته به شمار می‌رود. کاهش ۵۰ درصدی مصرف کودهای شیمیایی فسفاته نه تنها باعث صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود، بلکه این کاهش مصرف از آلودگی خاک‌ها و آب‌های کشور به‌دلیل تجمع بیش از حد فسفر و عناصر سنگین نظیر کادمیوم و بور می‌کاهد. همچنین پیشنهاد می‌شود از مصرف بیش از حد کودهای اوره خودداری و حتی المقدور از کودهای اوره با پوشش گوگرددار استفاده گردد؛ زیرا این کودها دیرتر تجزیه می‌شوند و کودهای اوره را به‌تدریج در آب یا خاک آزاد می‌کنند و در نتیجه، مقدار بیشتری از این کودها جذب گیاه شده و مقدار خیلی کمی وارد آب‌های زیرزمینی می-شود.

نتایج حاکی از بالا بودن پتانسیل گرمایش جهانی برای سه محصول گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و ذرت بود که از میان نهاده‌ها، کود نیتروژن بیشترین تأثیر را در گرمایش جهانی داشت. می‌توان گفت این محصولات از منابع عمده در سبد غذایی مردم کشور هستند و حمایت زیادی از طرف دولت در زمینه فروش آن وجود ندارد و این عوامل موارد موجب می‌گردد، کشاورزان به‌منظور افزایش درآمد خود، میزان بیشتری نهاده همچون کود شیمیایی مصرف نمایند. متأسفانه در سال‌های اخیر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در کشور به‌جای بهره‌گیری از دانش روز کشاورزی برای تولید بیشتر، مصرف کودهای شیمیایی را در واحد سطح افزایش داده‌اند. توهم افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر کود شیمیایی به‌ویژه اوره در بعضی از مناطق کشور سبب استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده است، به‌طوری‌که تداوم این امر علاوه‌بر خسارت‌های مالی و تشدید عدم تعادل عناصر غذایی در خاک، خطرات جدی را در رابطه با آلودگی خاک و آب و گرمایش جهانی به‌وجود آورده است. متأسفانه به‌دلیل ارزانی نسبی کودهای شیمیایی و اختصاص یارانه به کودهای تک عنصره، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی از مصرف مواد آلی غافل شده‌اند. می‌توان گفت درصورت ادامه روند سیاست‌گذاری و برنامه-ریزی فعلی در تولید محصولات کشاورزی، آلودگی زیست‌محیطی و عدم تعادل اقلیمی منطقه تشدید می‌گردد. بر اساس این نتایج می‌توان گفت، تغییرات در شیوه‌های مدیریتی یک نیاز اساسی در بخش کشاورزی می‌باشد.

نتایج نشان داد که زمین‌هایی که به‌صورت سیستم اجاره‌داری کشت می‌شوند، بیشترین مصرف نهاده را داشته و تأثیر منفی بر محیط زیست منطقه دارد؛ لذا در این زمینه پیشنهاد می‌گردد، شرایط تشکیل نهادهای محلی جهت بهره‌برداری از زمین‌ها تسهیل گردد و یا در صورت گسترش نظام اجاره‌داری، نهادهای متولی با اعمال قوانین در قراردادهای اجاره به نظارت بر نحوه کشت در راستای کمترین آسیب ممکن بر زمین تأکید داشته باشند تا از این طریق، میزان آسیب به محیط‌زیست کاهش یابد.

Refrences

Afruzi, A., and Zare Abyaneh, H., 2020. Investigation of agricultural water demand under the combination scenarios of climate change, irrigation efficiency enhancement, cropping pattern changes, and the development of early-maturing cultivars: A case study of Hamedan-Bahar Plain. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 1(14): 61-75. (In Persian with English Summary)

Afzalinia, S., 2020. Tillage effects on energy use and greenhouse gas emission in wheat-cotton rotation. Iran Agricultural Research 39(1): 13-24. (In Persian with English Summary)

Ahmad, A., and Khan, S., 2009. On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns p. 2776–2782.

Basiri, M., Ghamarnia, H., and Ghobadi, M., 2020. Effect of different deficit irrigation and salinity management on leaf, shoot and root growth of (*Mentha piperita* L.). Journal of Water and Irrigation Management 1(10): 1-14. DOI: 10.22059/JWIM.2019.281106.681 (In Persian with English Summary)

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 849-855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024

Behmanesh, J., Aligolinia, T., Rezaie, H., and Montasery, M., 2016. Determination and evaluation of blue and green water footprint of dominant tillage crops in Urmia lake watershed. Journal of Water and Soil Conservation 23(3): 337-344. DOI:10.22069/JWFST.2016.3203 (In Persian with English Summary)

Cheng, K., Yan, M., Nayak, D., Smith, P., Pan, G.X., and Zheng, J.W., 2014. Carbon footprint of crop production in China: An analysis of national statistics data. The Journal of Agricultural Science 153: 422-431. https://doi.org/10.1017/S0021859614000665

Elbehri, A., and Sadiddin, A., 2016. Climate change adaptation solutions for the green sectors of selected zones in the MENA region. Future of Food. Journal on Food, Agriculture and Society 4(3): 39-54.

Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., and Erdal, H., 2007. An economic analysis and energy use in staketomato production in Tokat province of Turkey. Renewable energy 32: 1873-1881. https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.005

Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R., and Nino, P., 2020. Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. Environmental Science and Policy 104: 1–12. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008

Fan, X., Zhang, W., Chen, W., and Chen, B., 2020. Land–water–energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. Applied Energy 265: 114796. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114796

Farajian, L., Moghaddasi, R., and Hosseini, S., 2018. Agricultural energy demand modeling in Iran: Approaching to a more sustainable situation. Energy Reports 4: 260–265. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.03.002

Garcia, D.J., Lovett, B.M., and You, F., 2019. Considering agricultural wastes and ecosystem services in Food-Energy-Water-Waste Nexus system design. Journal of Cleaner Production 228: 941–955. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.314

Ghiyasi, M., Pouryousef, M., Myandoab, M., Tajbakhsh, A., Hasanzade- Gorttape, M., and Salehzade, H., 2008. The evaluation of energy balance of wheat under low input farming in west Azerbaijan. Research Journal of Biological Sciences 12(3): 1408–1410.

Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, K., 2005. An econometric analysis of energy input/ output in Turkish agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608–623. https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.07.001

Jat, H.S., Jat, R.D., Nanwal, R.K., Lohan, S.K., Yadav, A.K., Poonia, T., Sharma, P.C., and Jat, M.L., 2020. Energy use efficiency of crop residue management for sustainable energy and agriculture conservation in NW India. Renewable Energy 155: 1372–1382. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.046

Kamali, M.E., 2021. Determining the amount of water required for Maize irrigation in Mazandaran province. Extension Journal of Oilseed Plants 2(2): 93-103. (In Persian with English Summary)

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., and Mousazadeh, H., 2013a. Reduction of CO_2 emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. Energy 55: 676–682. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.021

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013b. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333–338. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028

Krejcie, R.V., & Morgan, D.W., (1970). Determining Sample Size for Research Activities. Educational and Psychological Measurement.

Maysami, M., and Jalali, A., 2020. Evaluation of energy input-output in wheat crop cultivation in agro-industry company of mazare novin Iranian (Agh Ghalla). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 30(2): 333-346. (In Persian with English Summary)

Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y., 2020. Sustainability of the blue water footprint of crops. Advances in Water Resources 103679: 1-16. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103679

Mirbalooch, M.N., Delbari, M., and Piri, H., 2020. Evaluation of performance of classical sprinkler irrigation systems with mobile sprinkler in Khash city. Journal of Water and Irrigation Management 10(1): 31- 44. DOI: 10.22059/JWIM.2020.292131.732 (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., and Banihabib, M.E., 2020. Strategic management model for virtual water exchange of Iranian agricultural and animal productions. Journal of Water and Irrigation Management 10(1): 15-29. DOI: 10.22059/JWIM.2020.292971.731 (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., Rafiee, S.H., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avva, S.H., and Nonhebe, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724–733. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.012

Moradi, R., and Pourghasemian, N., 2017. Greenhouse gases emission and global warming potential as affected by chemicals inputs for main cultivated crops in Kerman province: I- Cereal. Journal of Agroecology 9(2): 389-405. DOI: 10.22067/JAG.V9I2.42033 (In Persian with English Summary)

Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., and Sefeedpari, P., 2012. Energy consumption and CO_2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production 33: 183–191. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.008

Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali, E., and Foroughnia, A., 2019. Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan province. Journal of Agroecology 9(1): 17-38. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, S.H., Sharifi Moghadam, E., Delavar, M., and Zarghami, M., 2020. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. Agricultural Water Management 233: 106071. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071

Shabanzadeh, M., Esfanjari Kenari, R., and Rezaei, A., 2016. Investigating the energy pattern of tomato production in Khorasan Razavi province. Journal of Agricultural Machinery 6(2): 524-536. https://doi.org/10.22067/jam.v6i2.37724 (In Persian with English Summary)

Singh, H., Mishra, D., and Nahar, N.M., 2010. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India – Part I. Energy Conversion and Management 43(16): 2275-2286. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00161-3

Soni, P., Taewichit, C., and Salokhe, V.M., 2013. Energy consumption and CO_2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. Agricultural Systems 116: 25-36. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.006

Taghinazhad, J., Vahedi, A., and Ranjbar, F., 2019. Economic assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat production in Ardabil provience. Environmental Sciences 17(3): 137-150. https://doi.org/10.29252/envs.17.3.137 (In Persian with English Summary)

Tan, I., Storelvmo, T., and Zelinka, M., 2016. Observational constraints on mixed-phase clouds imply higher climate sensitivity. Science 6282(352): 224-227. DOI: 10.1126/science.aad5300

Tian, H., Lu, C., Ciais, P., Michalak, A.M., Canadell, J.G., Saikawa, E., Huntzinger, D.N., Gurney, K.R., Sitch, S., and Zhang, B., 2016. The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere. Nature 531: 225-228. https://doi.org/10.1038/nature16946

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural Systems 85: 101–119. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., and Khoramivafa, M., 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. Environmental Science and Pollution Research 23(8): 7390–7397. https://doi.org/10.1007/s11356-015-5964-7

Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., and Mondani, F., 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. Journal of Crop Production and Processing 5(17):181-191. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181 (In Persian with English Summary)